

"SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS PARA ANALISIS DIGITAL DE FONEMAS"

ING. ALFONSO ESPINOSA R.
ING. DIEGO JIJON
ING. CESAR RIVERA

R E S U M E N

El presente artículo describe un sistema de adquisición de datos que será utilizado para el análisis de fonemas, con ayuda de un computador Tektronix 4051.

Si bien el equipo ha sido diseñado específicamente para proporcionar datos para el análisis de señales de audio, puede ser utilizado también para el estudio de otro tipo de señales analógicas, tales como: transitorios, señales eléctricas originadas en sistemas biológicos, señales periódicas, etc.

En este trabajo se señalan las características fundamentales del equipo, el diseño general de la parte circuital y los resultados experimentales.

I N T R O D U C C I O N

En los últimos años se han difundido sistemas que trabajan bajo el control de la voz humana o que utilizan la voz como medio de comunicación y de identificación personal. Se prevee que en un futuro próximo estos equipos serán también utilizados en nuestro país, por lo que es necesario contar con análisis espectrales de tallados de los fonemas ecuatorianos.

Análisis de este tipo requieren de un banco de datos que describan las señales de audio en función del tiempo. La creación de este banco de datos es el objetivo principal del sistema descrito en este artículo.

1. CARACTERISTICAS GENERALES

El equipo fue diseñado sobre la base del diagrama funcional mostrado en la Fig. 1.1. Como puede apreciarse, únicamente las señales de audio son amplificadas y filtradas antes de ser cuantizadas.

1.1. CONTROL DIGITAL.-

Entre las funciones más importantes que cumple el control están las siguientes:

- Permite al operador comunicarse con el equipo por medio de un teclado y controlar los dispositivos de salida: LED's e indicadores de siete segmentos.
- Enruta las señales analógicas y digitales de acuerdo al modo de operación escogido: Entrada o salida de datos.
- Permite programar el amplificador con un cierto valor de ganancia.
- De acuerdo a la frecuencia de muestreo seleccionada, programa automáticamente la frecuencia de corte del filtro y sincroniza el conversor analógico-digital con la memoria.
- Mantiene el refresco de la memoria (dinámica).
- Controla la operación de salida de datos a través del bus GPIB hacia la computadora Tektronix 4051, por medio del circuito de interface.

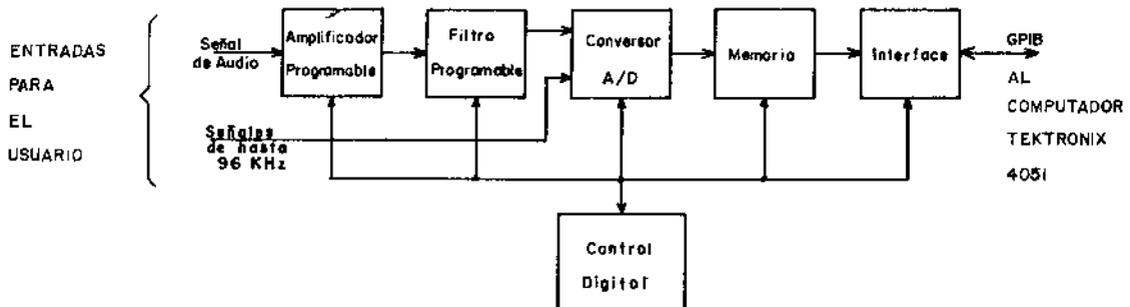


Fig. 1.1. Diagrama funcional

Permite iniciar el muestreo de las señales en forma manual o automática y de tener la operación del equipo en cualquier instante.

1.2. AMPLIFICADOR PROGRAMABLE.-

Este amplificador tiene una ganancia variable cuyo valor se puede seleccionar en forma digital a través del teclado. Los valores de amplificación disponibles son: 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 y 200. La programación de la ganancia se hace por medio de interruptores analógicos.

1.3. FILTRO PROGRAMABLE.-

Para cubrir el rango de audio se han especificado seis frecuencias de muestreo que son: 8, 12, 16, 24, 32 y 48 KHz. Se incluyen además dos frecuencias adicionales de muestreo: 96 KHz y 192 KHz, las mismas que permiten trabajar con señales analógicas más allá del rango de audio.

El filtro implementado en el sistema de adquisición de datos es de tipo elíptico, de quinto orden. La función de atenuación del mismo se muestra en la Fig. 1.2.

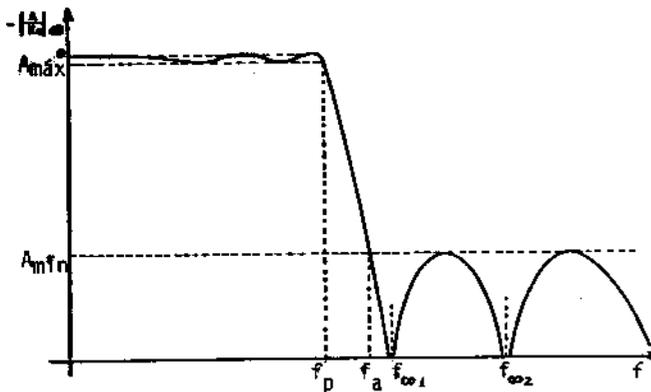


Fig. 1.2. Función de atenuación del filtro.

Donde:

- $|A/K_0|_{db}$ es el módulo de la atenuación normalizada con respecto al valor de ganancia en DC del filtro ($K_0 = 1.9209$).
- $A_{máx}$ ($=0.1dB$) y $A_{mín}$ ($=40dB$) son valores de atenuación que se fijaron en el diseño.
- f_p es la última frecuencia para la cual la atenuación toma el valor de $A_{máx}$.
- f_a es la primera frecuencia para la cual la atenuación toma el valor de $A_{mín}$.
- $f_{\infty 1}$ y $f_{\infty 2}$ son frecuencias en las cuales la atenuación es infinita (ceros de transmisión).

La selectividad del filtro es:

$$k = \frac{f_p}{f_a} = 0.705$$

De acuerdo con el teorema de muestreo (Shannon), el espectro de la señal de audio no debe contener componentes de frecuencia más allá de la mitad de la frecuencia de muestreo (f_m). Así pues, al fijar la relación:

$$f_p = \frac{1}{3} f_m$$

se garantiza la eliminación de componentes de frecuencia indeseadas en el proceso de cuantización.

Como se indicó, existen seis frecuencias de muestreo para el rango de audio, lo que obliga a tener un filtro programable en seis frecuencias de corte (f_p). En este caso, también, la programación del filtro se efectúa mediante interruptores analógicos.

1.4. CONVERTOR ANALÓGICO-DIGITAL.-

La cuantización de la señal analógica se hace por medio de un circuito convertor analógico-digital lineal de 12 bits. La conversión se realiza mediante aproximaciones sucesivas en un tiempo de 4.5 μs . El uso de 4096 (2^{12}) niveles de cuantización en una escala permite obtener una excelente precisión para señales que alcanzan el tope de la escala. El error cometido en este caso no supera el 0.05%.

1.5. MEMORIA.-

El objetivo del circuito de memoria (RAM) es el de proporcionar un almacenamiento temporal a los datos provenientes del convertor A/D, hasta que éstos sean transferidos al computador, el cual los guardará en forma definitiva en una unidad de disco magnético.

La capacidad de la memoria es de 64K x 12 bits. El tiempo (t_m) durante el cual el sistema adquiere los datos está determinado por la frecuencia de muestreo y por la capacidad de la RAM. La tabla I resume estos tiempos.

TABLA I.- Tiempos de muestreo

f_m [KHz]	t_m [s]
8	8.19
12	5.46
16	4.10
24	2.73
32	2.05
48	1.37
96	0.68
192	0.34

Se utilizaron las memorias dinámicas MCM4116 de 16K x 1 bits ($t_{acc} = 200$ ns.), en un arreglo de 48 integrados distribui

dos en cuatro filas de 12 memorias cada una.

1.6. INTERFACE.-

El circuito de interface tiene la finalidad de pasar los datos almacenados en la memoria del sistema al computador Tektronix 4051. La transferencia de datos se realiza mediante un bus estandarizado de acuerdo a la norma IEEE-488 (GPIB). Este es un sistema asincrónico que permite la transferencia de 8 bits en paralelo, debido a lo cual se hace necesario enviar cada palabra (de 12 bits) dividida en dos partes: la primera, conteniendo los 8 bits menos significativos y la segunda, los 4 bits más significativos. Una vez ingresados estos datos al computador, éste debe proceder a la reconstrucción del dato original antes de guardarlo en disco.

2. DIAGRAMA DE BLOQUES.-

En la Fig. 2.1. se muestra un diagrama de bloques más detallado del equipo. En este diagrama es factible identificar los circuitos fundamentales que se mencionaron en la sección anterior. Complementando a éstos se observan otros circuitos, algunos de los cuales no son imprescindibles para el funcionamiento del aparato, pero que son útiles desde el punto de vista del operador. Adicionalmente, puede verse que existen interruptores para el enrumbamiento de las señales analógicas (S_a, S_b, S_x, S_y, S_z) que es tan controlados digitalmente.

A continuación se explica la función que cumplen estos circuitos adicionales y el estado de los interruptores analógicos según el modo de operación que se haya escogido.

El atenuador 1 tiene por finalidad el acoplamiento de impedancia con el micrófono seleccionado para el equipo. La impedancia de entrada es de 1 K ohmio y el valor de la atenuación es igual al inverso de la ganancia en DC del filtro programable. El atenuador incluye también una protección contra voltajes excesivos en la entrada.

El atenuador 2 es semejante al anterior, pero en este caso la impedancia de entrada es más alta (100 K ohmios) y el valor de la atenuación es 0.5.

El teclado permite al operador comandar el aparato. Consta de 19 teclas.

El panel de indicación está formado por un conjunto de diodos emisores de luz (LED's) que dan una información del valor de amplificación y frecuencia de muestreo escogidos, así como del estado de operación y del nivel de grabación.

El generador de frecuencias es básicamente un oscilador a cristal (6.144 MHz). Por medio de divisiones sucesivas se obtienen todas las frecuencias que son necesarias en el equipo.

La señal de "Disparo Externo" es de tipo digital (TTL) e inicia el muestreo de la señal analógica de entrada con una transición negativa.

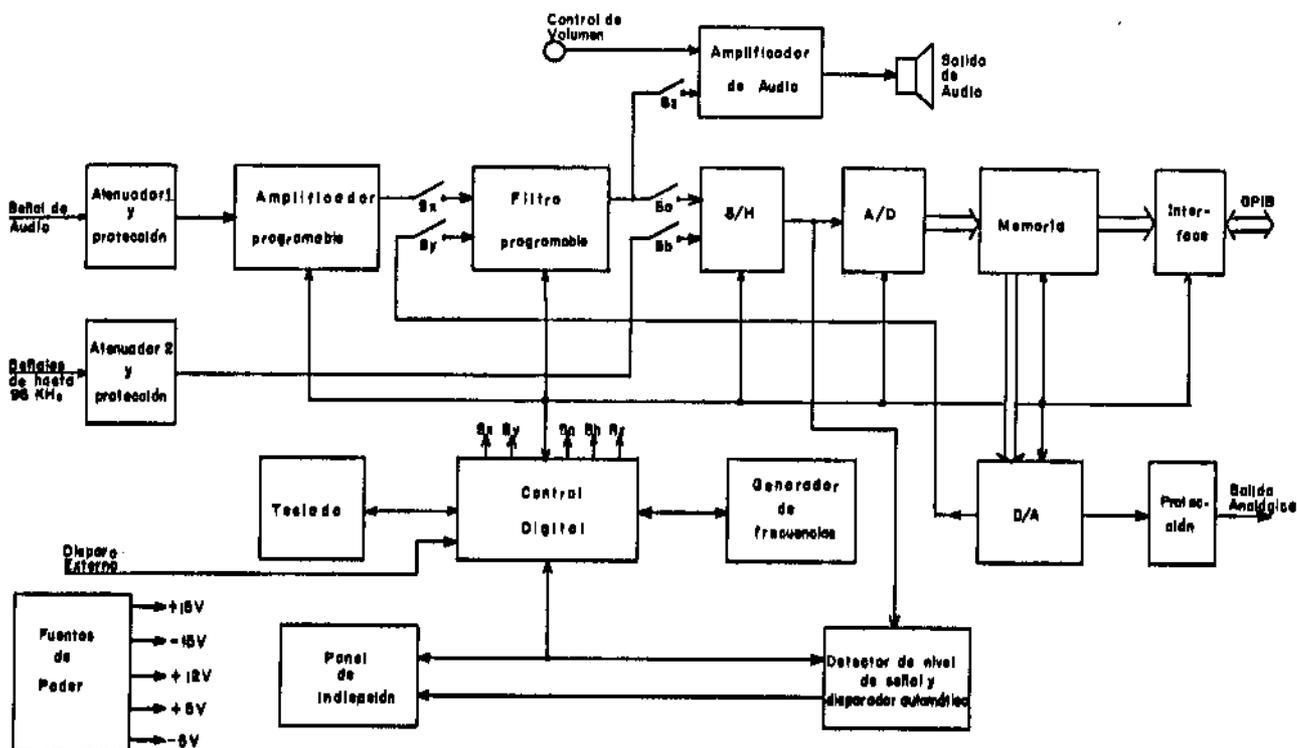


Fig. 2.1. Diagrama de bloques.

El amplificador de audio sirve para manejar el parlante con el cual se puede oír la señal que se desea grabar, que se está grabando o que se ha grabado en la memoria. El control de volumen se efectúa manualmente con un potenciómetro externo.

El interruptor analógico S_z permite habilitar o deshabilitar el amplificador de audio y puede comandarse desde el teclado. Un LED indica si el amplificador está habilitado. En caso de no estarlo (S_z abierto) la frecuencia con la que salen los datos por el conversor digital/analógico es de 6 KHz. Se ha escogido esta frecuencia para tener una salida analógica con variaciones que puedan ser captadas por un grafizador.

Los interruptores S_a y S_b seleccionan la señal de entrada que se va a muestrear. Si la frecuencia de muestreo es menor o igual a 48 KHz, S_a está cerrado y S_b está abierto. Si se usan las frecuencias de 96 KHz o de 192 KHz, S_a se abre y S_b se cierra.

El interruptor S_x está cerrado siempre que el modo de operación corresponda a entrada de datos con cualquiera de las frecuencias de muestreo y el parlante esté habilitado.

El circuito S/H (SAMPLE & HOLD) es un muestreador-retenedor que mantiene congelada la señal analógica durante el tiempo en el que el circuito A/D está realizando una conversión. El trabajo del S/H es independiente de la frecuencia de muestreo seleccionada y su ciclo de muestreo y retención ("Track and Hold") está sincronizado con la frecuencia alta de muestreo (192 KHz).

El circuito detector de nivel y disparador automático tiene por objeto comandar un indicador luminoso (una barra de LED's) en el panel de indicación para dar a conocer el nivel de la señal. Tiene también un circuito detector de picos (digital) y un circuito adjunto que inicia automáticamente la adquisición de datos al superar la señal un cierto nivel predefinido.

El conversor D/A permite recuperar la información grabada en la memoria en forma de señal analógica. Para propósitos de reproducción, el uso de 10 bits resulta suficientemente práctico, pues la precisión que se alcanza es del orden del 0.1%. La señal del conversor sale del aparato a través de una protección a cortocircuitos o sobrevoltajes. La salida del conversor puede usarse también para reproducir en el parlante la información de audio contenida en la memoria. Para ello, la señal del conversor debe pasar previamente por el filtro ya que el espectro de frecuencia de esta señal es semejante al espectro de la señal muestreada.

3. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los resultados que se detallan a continuación se obtuvieron con el sistema de

adquisición de datos conectado como un periférico del computador Tektronix 4051.

Las instrucciones (en lenguaje BASIC) para extraer los datos almacenados en la memoria del sistema son las siguientes:

```
100 DIM x(1024), y(1024)
110 OPEN "DATOS"; 1, "F". Z%
120 FOR J = 1 TO 64
130 FOR I = 1 TO 1024
140 WBYTE @ 80:
150 RBYTE x(I), y(I)
160 WBYTE @ 63:
170 NEXT I
180 y = 256*y
190 y = x + y
200 y = y/2048
210 x = y - 1
220 WRITE # 1:x
230 NEXT J
240 CLOSE 1
```

Con este programa el computador extrae del sistema 64 grupos de 1024 datos de 12 bits. Cada dato está separado en dos variables $x(I)$, $y(I)$. Los ocho bits menos significativos se almacenan en $x(I)$ y los cuatro bits más significativos en $y(I)$. Los datos provenientes del sistema están en un rango de 0 a 4095 y en las líneas 180 a 210 se los normaliza en el rango de -1 a +1, antes de guardarlos en el disco (línea 220). El tiempo de lectura de cada grupo de 1024 datos (línea 130 a línea 170) es de 33 segundos y el tiempo para normalizarlos y almacenarlos en el disco (línea 180 a línea 220) es de unos 16 segundos. El tiempo total requerido para extraer, normalizar y guardar en disco los 64 K datos (línea 100 a línea 240) es de 1 hora 10 minutos, aproximadamente.

3.1. PRUEBAS DE GRABACION.-

En las figuras 3.1. y 3.2. se muestran dos señales de prueba provenientes de un oscilador Simpson modelo 420, conectado a la entrada EXT del sistema de adquisición de datos. El muestreo se hizo a 192 KHz. Las imperfecciones en la onda cuadrada son propias de este oscilador.

En la figura 3.3. se muestran los 100 primeros datos correspondientes a una señal sinusoidal proveniente de un oscilador HEWLETT-PACKARD modelo 200 CD. La grabación se hizo por la entrada para señales de audio, con una amplificación $\times 200$ y con una frecuencia de muestreo de 48 KHz.

Fa : 1000Hz
 T : 0.21uS
 HOR : 1100uS/div
 VER : 0.5/div

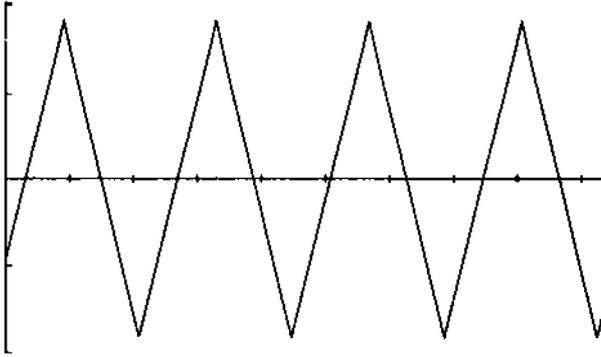


Fig. 3.1. Onda triangular de prueba.

Fa : 400Hz
 T : 20.85uS
 HOR : 1100uS/div
 VER : 0.5/div

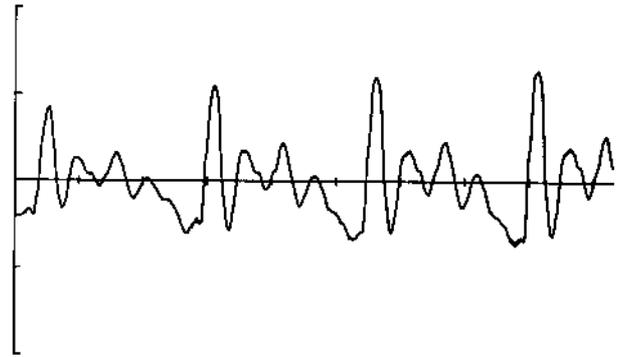


Fig. 3.4. La vocal "a"

Fa : 1000Hz
 T : 0.21uS
 HOR : 1100uS/div
 VER : 0.5/div

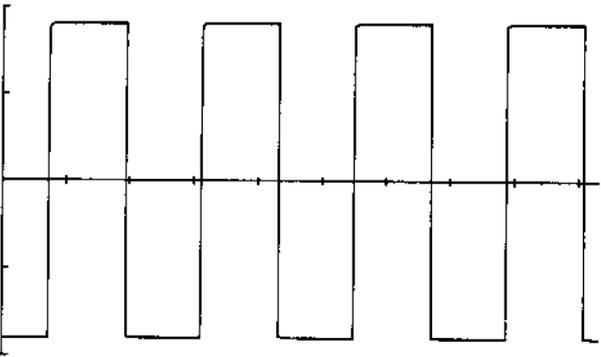


Fig. 3.2. Onda cuadrada de prueba.

Fa : 400Hz
 T : 20.85uS
 HOR : 1100uS/div
 VER : 0.5/div

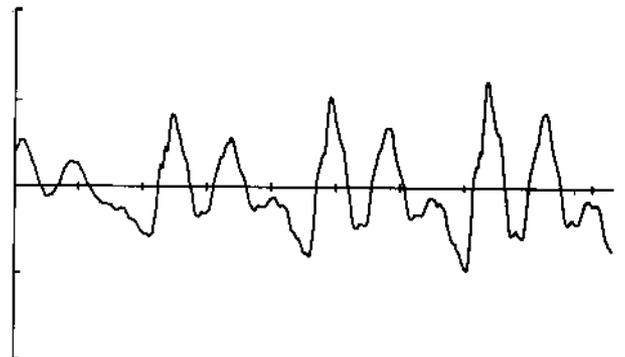


Fig. 3.5. La vocal "e"

DATOS | AL 100

Fa : 400Hz
 T : 20.85uS
 HOR : 1100uS/div
 VER : 0.5/div

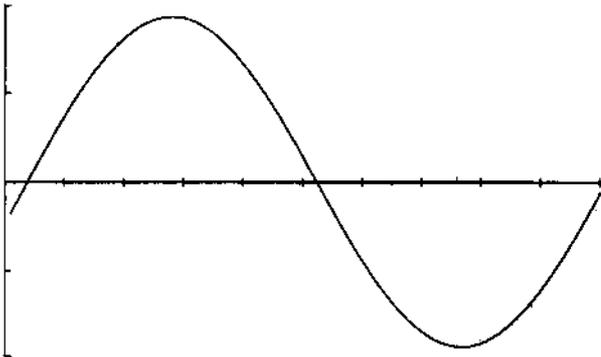


Fig. 3.3. Onda sinusoidal de prueba.

Fa : 400Hz
 T : 20.85uS
 HOR : 1100uS/div
 VER : 0.5/div

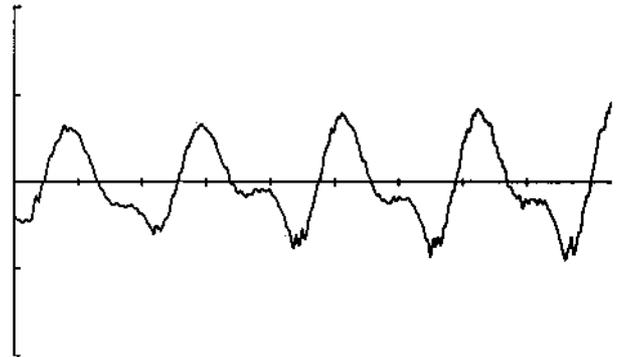


Fig. 3.6. La vocal "i"

Por último en las figuras 3.4 a 3.8. se aprecian las formas de onda de las 5 vocales obtenidas usando un micrófono ATM-31, con amplificaciones entre 50 y 200, según la vocal.

Fc : 400Hz
 T : 20.00us
 HOR : 1.00us/div
 VER : 0.5/div

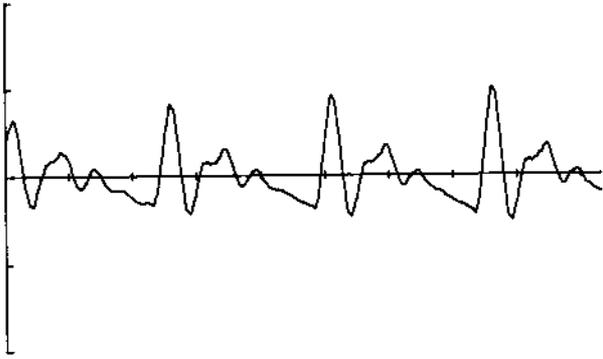


Fig. 3.7. La vocal "o"

Fc : 400Hz
 T : 20.00us
 HOR : 1.00us/div
 VER : 0.5/div

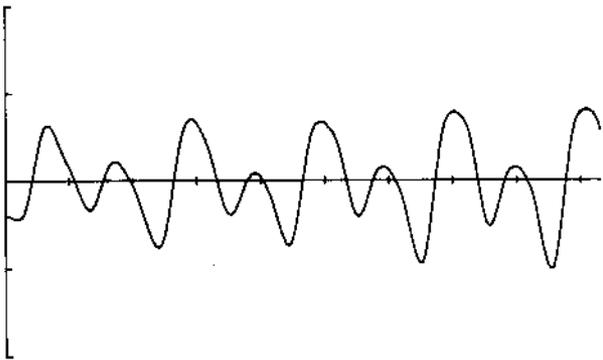


Fig. 3.8. La vocal "u"

4. CONCLUSIONES

Los resultados experimentales de este proyecto permiten afirmar que el sistema de adquisición de datos cumple con los requerimientos y con las especificaciones para las cuales fue diseñado, por lo que no puede hablarse de limitaciones del equipo. Existen, sin embargo, fuentes de error en la cuantización de las señales, algunas de las cuales pueden compensarse o minimizarse. Las principales causas de error observadas durante la implementación del aparato se indican a continuación:

- Capacidades parásitas propias de los elementos y de la circuitería.
- Corrientes de fuga, sobre todo, de los interruptores análogos, pues los amplificadores operacionales poseen entradas con FETs.
- Inducción electromagnética, por la presencia de líneas de fuerza.

Una vez realizadas las pruebas en el computador, se pudo observar la posibilidad

de mejorar el sistema convirtiéndolo en un "LISTENER". Para esta expansión sería necesario modificar el circuito de interface con el propósito de que pueda recibir básicamente dos tipos de instrucciones: La primera se refiere a que el computador pueda inicializar el contador de direccionamiento de la memoria en cualquier localidad para empezar la lectura de datos desde ese punto. La segunda consiste en que el computador pueda escribir datos en la memoria del sistema, con el fin de realizar pruebas de síntesis de la voz.

En cuanto al tiempo que se ha requerido para completar el proyecto fueron necesarias una 1500 horas de trabajo, y el costo de elementos y materiales asciende a unos S/. 120.000,00 (1982).

La realización de este proyecto fue factible gracias al Convenio de Cooperación Interinstitucional entre el IETEL y la Escuela Politécnica Nacional, para realizar trabajos de investigación.

5. REFERENCIAS

- (1) ESPINOSA A./JIJON D./RIVERA C., Sistema de Adquisición de Datos para Análisis Digital de Fonemas, Informe Final, E.P.N., Quito, 1982.
- (2) STOUT D./KAUFMAN M., Handbook of Operational Amplifier Circuit Design, McGraw Hill Inc., Caledonia, 1976.
- (3) ANALOG DEVICES, Data Acquisition Components and Subsystems, Norwood, 1980.
- (4) TIETZE U./SCHENK CH., Halbleiter - Schaltungs - technik, Springer - Verlag, Berlín, 5a. Ed., 1980.
- (5) BILDSTEIN P., Filtros Activos, Ed. Marcombo, España, 1977.
- (6) IEEE, IEEE Standard Digital Interface for Programmable Instrumentation, New York, 1979.



ESPINOSA, ALFONSO. Nació en la ciudad de Latacunga, Ecuador, el 17 de Enero de 1947. Recibió su título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en 1973, en la Escuela Politécnica Nacional, Quito. Posteriormente realizó estudios de Post-Grado en la Universidad Técnica de Berlín Occidental hasta 1976, obteniendo el título de Dipl. - Ing. Actualmente es Profesor Principal de la Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Electrónica, Área de Sistemas Digitales.



JIJON, DIEGO. Nació en Quito, el 20 de Abril de 1959. Obtuvo su título de Bachiller en el Colegio Alemán en 1977. Realizó sus estudios superiores en la Escuela Politécnica Nacional y se graduó de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en 1982.



RIVERA, CESAR. Nació en Quito, el 23 de Enero de 1959. Graduado de Bachiller en el Colegio "La Salle" en 1977. Realizó sus estudios superiores en la Escuela Politécnica Nacional y se recibió de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en 1982. Actualmente presta sus servicios en Digitec Cía. Ltda.